

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995  
Телефон 240 60 15. Телекс 114818 ПДЧ. Факс 243 33 37

Наш № 20/12-620

“20 октября 2004 г.

### СПРАВКА

Федеральный институт промышленной собственности (далее – Институт) настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы, реферата и чертежей (если имеются) заявки № 2003133969 на выдачу патента на изобретение, поданной в Институт в ноябре месяце 21 дня 2003 года (21.11.2003).

Название изобретения:

Планарная антенна

Заявитель:

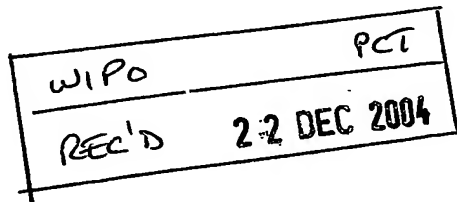
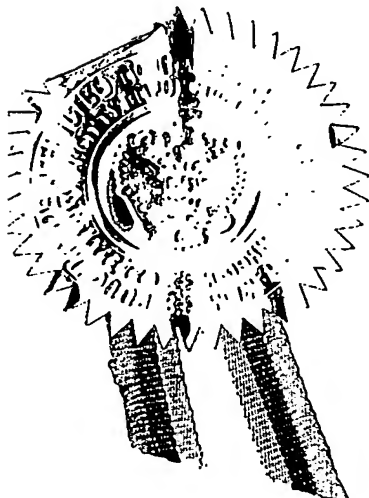
САМСУНГ ЭЛЕКТРОНИКС КО.,ЛТД (KR)  
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (RU)

Действительные авторы:

БАНКОВ Сергей Евгеньевич (RU)  
КАЛОШИН Вадим Анатольевич (RU)

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



Заведующий отделом 20

А.Л.Журавлев

BEST AVAILABLE COPY



### ПЛАНАРНАЯ АНТЕННА

Изобретение относится к радиотехнике, а именно к антенным системам и может быть использовано в системах связи, радиолокации и спутникового телевидения.

Планарные антенны обладают малыми габаритами и широко используются в различных диапазонах волн.

В сантиметровом и миллиметровом диапазоне полосковые антенны имеют большие потери, поэтому чаще используются антенны в виде решеток из металлических волноводов вытекающей волны. Такие антенны позволяют обеспечить в этих диапазонах малые потери и работу на двух поляризациях [1]. К числу недостатков этих антенн относится сложная технология изготовления и большой вес.

Известна антенна на основе планарного металлодиэлектрического волновода антенны с центральным питанием и излучением по нормали, которые обеспечивают работу на двух поляризациях и свободна от упомянутых выше недостатков [2]. Недостатком этой антенны является сравнительно небольшая полоса рабочих частот, не превышающая, как правило, несколько процентов и обусловленная рассогласованием по входу из-за резонансного (брегговского) отражения. Аналогичный недостаток по аналогичной причине имеет антенна [3], у которой к тому же более сложная двухэтажная конструкция.

Наиболее близким аналогом является антенна вытекающей волны, содержащая планарный диэлектрический волновод с двухмерной решеткой диэлектрических излучателей и двумя ортогонально расположенными линейными возбудителями, которая может обеспечить

работу на двух поляризациях [4]. Недостатком этой антенны также является узкая полоса частот, обусловленная расхождением направлений излучения волн с ортогональными поляризациями из-за частотного сканирования.

Задачей заявленного изобретения является создание на базе планарного металлодиэлектрического волновода двухполяризационной антенны, работающей в широкой полосе частот.

Технический результат достигается тем, что антенна содержит планарный, металлизированный, по меньшей мере, с одной стороны диэлектрический волновод, к боковым сторонам которого примыкают два металлических волновода, связанные с планарным волноводом через периодическую решетку щелей, причем период решетки содержит две щели, сдвинутые или наклоненные относительно друг друга, на поверхности планарного волновода в узлах ромбической сетки расположены излучающие элементы, имеющие две плоскости симметрии.

Планарная антенна может характеризоваться тем, что имеет форму ромба.

Планарная антенна может характеризоваться тем, что металлический волновод имеет прямоугольное сечение.

Планарная антенна может характеризоваться тем, что металлические волноводы соприкасаются с планарным своими широкими стенками.

Планарная антенна может характеризоваться тем, что металлические волноводы соприкасаются с планарным своими узкими стенками.

Существо изобретения поясняется на чертежах, где

на фиг.1 дан общий вид планарной антенны по данному изобретению;

на фиг.2 показана сетка, в узлах которой располагаются излучающие элементы;

на фиг.3 показан питающий волновод со щелями связи;

на фиг.4 показана сферическая система координат;

на фиг.5 показан излучающий элемент;

на фиг.6 показана частотная зависимость угла падения волнового пучка;

на фиг.7 показана частотная зависимость угла излучения угломестной плоскости;

на фиг.8 показана частотная зависимость угла излучения в азимутальной плоскости;

на фиг.9 показана зависимость угла между максимумами диаграмм направленности для разных каналов в зависимости от частоты;

на фиг. 10 показана нормированная диаграмма направленности антенны в угломестной плоскости при экспоненциальном распределении в апертуре;

на фиг.11 показана нормированная диаграмма направленности антенны в азимутальной плоскости при экспоненциальном распределении в апертуре;

на фиг.12 показана частотная зависимость уровня кросс-поляризации;

на фиг.13 показаны частотные зависимости Кипа для двух разных распределений в апертуре антенны.

Общий вид заявленной антенны показан на фиг.1. Антенна

состоит из следующих элементов:

- Питающий волновод 1;
- Питающий волновод 2;
- плоский волновод, образованный диэлектрической пластиной с одной или двумя металлизированными поверхностями;
- решетка излучающих элементов 3, образованных неоднородностями на поверхности диэлектрика (металлическими или диэлектрическими) или на металле (в виде гофра, щелей и т.п.).

Плоский волновод (ПВ) имеют форму ромба. Отметим, что он может иметь и другую форму.

На фиг.2а показана ромбическая сетка, в узлах которой располагаются излучающие элементы. Из рисунка видно, что в общем случае углы наклона волноводов относительно декартовых координатных осей и углы наклона линий сетки не равны нулю и не равны друг другу.

Волноводы 1 и 2 обеспечивают возбуждение ПВ и решетки на его основе, которая преобразует двумерный волновой пучок в волны излучения свободного пространства. Связь волновода с ПВ обеспечивается с помощью системы отверстий или щелей, выполненных в широкой или узкой стенке волновода, которые располагаются в области стыка волноводов 1,2 с ПВ. Волновод с линейной решеткой щелей показан на фиг.3.

В общем случае размеры щелей и их смещение от оси волновода могут меняться вдоль волновода. Волновод имеет с одной стороны фланец для соединения с внешними устройствами, а с другой стороны размещается согласованная нагрузка.

Рассмотрим работу антенны в передающем режиме. Собственная

волна волновода, пробегающая вдоль решетки щелей возбуждает их, а щели, в свою очередь, возбуждают основную волну ПВ, которая является Т-волной с постоянной распространения  $\gamma_{pw}$  равной  $k\sqrt{\epsilon}$ ,  $k$  - волновое число свободного пространства, а  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость ПВ. Если толщина ПВ выбрана в соответствии со следующим неравенством:

$$h < \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon}}, \quad (1)$$

где  $h$  - толщина ПВ, а  $\lambda$  - длина волны в свободном пространстве, то в ПВ имеется одна распространяющаяся волна.

Постоянная распространения прямоугольного металлического волновода  $\gamma_w$  определяется следующим соотношением:

$$\gamma_w = \sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}, \quad (2)$$

где  $a$  - размер широкой стенки волновода. Известно, что линейная решетка может излучать на разных пространственных гармониках Флоке. Поскольку волна в волноводе является быстрой волной, а ПВ имеет диэлектрическое заполнение, то излучение в ПВ может осуществляться на нулевой гармонике. В тоже время для правильной работы антенны излучение должно происходить на минус первой гармонике. Для устранения излучения нулевой гармоники Флоке щели располагаются в шахматном порядке. Такое размещение щелей приводит к дополнительному фазовому сдвигу щелей равному  $\pi$ , который эквивалентен увеличению замедления волны волновода на величину  $\frac{\pi}{kP_w}$ , где  $P_w$  расстояние между щелями (см. фиг. 3). В

результате выбором данного расстояния мы устраняем нежелательное излучение на нулевой гармонике и оставляем искомое излучение на минус первой гармонике. В решетках с последовательным питанием известен эффект резонансного отражения, который наблюдается когда период решетки кратен половине длины волны в волноводе. С другой стороны, излучение из волновода на минус первой гармонике возможно только при достаточно больших периодах. Поэтому расстояние между щелями следует выбирать из неравенства:

$$0 < \frac{\pi}{P_w} - \gamma_w < \gamma_{pw}.$$

Поля, возбужденные разными щелями формируют двумерный волновой пучок, который распространяется в плоскости XOY. Угол между направлением распространения пучка и осью OX (возбуждается вертикальный волновод) можно записать следующим образом:

$$\varphi_i = \arcsin \left( \frac{\frac{\pi}{P_w} - \gamma_w}{\gamma_{pw}} \right) - \varphi, \quad (3)$$

где  $\varphi$  — угол между волноводом и осью OY.

Распределение поля в направлении ортогональном направлению распространения пучка преимущественно определяется параметрами щелевой решетки. Например, если все щели в ней одинаковые, то амплитудное распределение имеет экспоненциальный характер. Делая щели разными, можно изменить амплитудное распределение, в частности, приблизить его к равномерному. Распределение поля вдоль направления распространения пучка имеет характер бегущей волны.

Пробегаая вдоль элементов решетки, пучок возбуждает их и создает излучение в свободное пространство. Нетрудно видеть, что в общем случае пучок распространяется под некоторым углом к линиям сетки, в узлах которой располагаются излучатели решетки (фиг. 2). Излучение из ПВ в свободное пространство также можно описать в терминах пространственных гармоник. Рабочим для данной антенны режимом является излучение на минус первой гармонике. Для такой решетки также имеются ограничения аналогичные ограничениям для волноводной решетки:

$$\frac{\pi}{\gamma_{pw}} < P_{pw} < \frac{2\pi}{\gamma_{pw}}.$$

Характеристики излучения удобно представить в сферической системе координат, показанной на фиг. 4. Угол  $\theta$  – угол места, а угол  $\varphi$  – азимутальный угол. Направление излучения из решетки, совпадающее с максимумом диаграммы направленности антенны задается углами  $\theta_m$  и  $\varphi_m$ . Для правильного функционирования антенны угол  $\varphi_m$  должен быть близок к 45 градусам. В этом случае азимутальные углы излучения при возбуждения по обоим входам оказываются близки друг к другу в силу симметрии антенны. В силу той же симметрии углы места максимума излучения у обоих каналов совпадают.

Близость  $\varphi_m$  к 45 градусам обеспечивается специальным выбором параметров волновода, щелевой решетки и излучающей решетки на основе ПВ. Приблизенно размер широкой стенки волновода  $a$  и период излучающей решетки  $P_{pw}$  можно получить из следующих формул:



$$a = \frac{\pi}{\sqrt{k^2 - \nu^2}},$$

$$P_{pw} = \frac{2\pi}{\left( \frac{\pi}{P_w} - \gamma_w \right) \frac{\cos(\varphi) + \sin(\varphi)}{\cos(\alpha) - \sin(\alpha)} + \sqrt{\varepsilon k^2 - \left( \frac{\pi}{P_w} - \gamma_w \right)^2} \frac{\cos(\varphi) - \sin(\varphi)}{\cos(\alpha) - \sin(\alpha)}}, \quad (4)$$

$$\nu = -\frac{B}{A} + \sqrt{\left( \frac{B}{A} \right)^2 - \frac{C}{A}}, A = (\varepsilon - 1)^2 + \mu^2, B = \frac{\pi}{P_w} ((\varepsilon - 1)^2 - \mu^2),$$

$$C = \left( \frac{\pi}{P_w} \right)^2 - \mu^2 \left( \varepsilon k^2 - \left( \frac{\pi}{P_w} \right)^2 \right), \mu = \frac{1 + \operatorname{tg}(\varphi)}{1 - \operatorname{tg}(\varphi)}$$

При этом мы обеспечиваем излучение по обоим каналам в одном направлении в некотором диапазоне частот.

При этом угол  $\theta_m$  зависит от частоты. Однако так как он одинаков для обоих каналов, то эта зависимость не приводит к расхождению лучей в пространстве.

Важной характеристикой антенны является поляризация излучения. Нормальным режимом работы заявленного устройства является режим излучения волн ортогональной поляризации при возбуждении антенны со стороны разных ее входов. Поскольку излучающим элементом является отверстие в металлическом экране, то определяющим фактором здесь будет распределение электрического поля и соответствующих ему магнитных токов в отверстии. Формирование поля в излучающем элементе поясняется на фиг. 5. Если отверстие имеет квадратную форму, то при относительно небольших электрических размерах оно обладает свойствами, близкими к свойствам скалярного излучателя. Характерной чертой такого излучателя является то, что поляризация его излучения полностью определяется углом падения

возбуждающей волны.

На фиг.5 показаны два случая возбуждения отверстия волнами  $E_{i1}$  и  $E_{i2}$ . Стрелками показаны направления их распространения. Они соответствуют направлениям распространения волновых пучков, возбуждаемых волноводами 1 и 2 рассматриваемой антенны. Поле в отверстии можно представить в виде векторной суммы двух мод  $E_1$  и  $E_2$ , которые полностью идентичны друг другу за исключением ориентации векторов электрического поля, которые ортогональны друг другу. Полное поле в отверстии является векторной суммой полей двух мод:

$$E = a_1 E_1 + a_2 E_2,$$

где  $a_{1,2}$  - коэффициенты возбуждения мод. Коэффициенты возбуждения пропорциональны скалярным произведениям вектора электрического тока возбуждающей волны (он ориентирован вдоль направления распространения волны) и векторов  $E_1$  и  $E_2$ . Нетрудно убедиться, что в этом случае суммарный вектор электрического поля в отверстии ориентирован вдоль направления распространения падающей волны ПВ.

На фиг.5 видно также, что в силу того, что направления распространения пучков возбуждаемых разными волноводами неортогональны, то и вектора в отверстиях неортогональны. Однако из этого не следует, что волны свободного пространства также будут неортогонально поляризованы. Дело в том, что антенна излучает под углом к своей плоскости, а в этом случае для получения ортогонально поляризованных волн в свободном пространстве надо иметь неортогонально ориентированные

излучатели на плоскости. Численные результаты представленные ниже показывают, что в данной конструкции поляризации волн излучения близки к ортогональным.

В рассматриваемой антенне существуют ограничения на выбор параметров. Одно из них связано с условием одноволнового распространения волны ПВ в двумерной решетке. Несмотря на то, что сам ПВ является одномодовым волноводом, периодичность структуры может приводить к появлению распространяющихся волн высшего типа. Условие отсутствия таких волн имеет следующий вид:

$$\left( \frac{2\pi}{P_{pw}} + \beta_1 \right) \frac{1}{\gamma_{pw}} > 1, \quad (5)$$

$$\beta_1 = \beta_0 \cos(2\alpha) - \kappa_0 \sin(2\alpha), \beta_0 = \gamma_{pw} \sin(\varphi_i), \kappa_0 = \gamma_{pw} \cos(\varphi_i).$$

Угол  $\varphi_i$  показан на фиг.26. Отметим, что выполнение (5) вместе с (4) автоматически обеспечивает отсутствие побочных дифракционных максимумов в диаграмме направленности антенны.

Реализации патентуемой антенны предшествует выбор параметров исходя из конкретных требований. Задается полоса рабочих частот, коэффициент усиления антенны. Затем выбирают диэлектрик, на основе которого выполнен ПВ, вид излучателя, выбирают период расположения щелей в металлическом волноводе, размер широкой стенки волновода, период излучающей решетки из условия (4), обеспечивающего излучение по обоим каналам в одном направлении и неравенств, исключающих резонансное отражение от решеток в волноводе и в ПВ, используя методы решения электродинамических задач и соответствующее программное обеспечение, выбираются размеры щелей, обеспечивающие требуемое амплитудное

распределение в ПВ.

Рассмотрим далее пример конкретной реализации рассматриваемой антенны. Ниже приводятся ее геометрические и электрические параметры.

Размер широкой стенки волновода  $a=14,3$

Размер узкой стенки волновода  $b=8$

Период размещения щелей в волноводе  $P_v=11$

Ширина щели в волноводе  $W_v=1$

Длина щели в волноводе  $L_v=6.9$

Смещение щелей в волноводе относительно центра широкой стенки  $x_0=2$

Толщина плоского волновода  $h=5.5$

Диэлектрическая проницаемость плоского волновода  $\varepsilon=2.2$

Период решетки в ПВ  $P_{pw}=11.7$

Размеры сторон квадратного щелевого излучателя  $W=6.2$

Угол наклона волновода относительно координатной оси  $\varphi=6$  град.

Угол наклона линеек решетки относительно координатной оси  $\alpha=6$  град.

Все размеры приведены в миллиметрах. Графики, приводимые ниже, получены в результате численного моделирования. Данная антенна имеет строго периодические решетки щелей как в волноводе, так и в ПВ. Это означает, что амплитудное распределение поля в апертуре антенны имеет экспоненциально спадающий характер как вдоль линий параллельных волноводу, так и в ортогональном направлении. Неравномерность амплитудного распределения приводит к снижению коэффициента использования

поверхности (КИП) антенны. Максимальное значение потерь КИПа при экспоненциальном распределении по обеим координатам равно 2 дБ. Оно достигается при некотором оптимальном значении показателя экспоненты, которое известно в теории апертурных антенн. Поскольку показатели экспоненты (коэффициенты затухания волн в волноводе и ПВ) зависят от частоты, то максимальный КИП достигается на некоторой фиксированной частоте. В диапазоне частот это условие не выполняется, что приводит к дополнительному снижению КИПа. Именно этот фактор, наряду с неравенством (5), ограничивает рабочую полосу частот антенны. В рассматриваемом примере она равна 10%. Поэтому все расчеты проводились в этом диапазоне частот.

На фиг.6 показана частотная зависимость угла падения волнового пучка.

На фиксированной частоте можно выбрать контур ПВ таким образом, что пучок распространяется вдоль его границ. При этом контур имеет форму ромба, а КИП максимален. При изменении частоты угол падения волнового пучка меняется, что снижает эффективность антенны, поскольку при отклонении пучка ее площадь используется не полностью. Однако в рабочем диапазоне частот этот эффект проявляется слабо, так как угол падения меняется не более, чем на 6 градусов.

На фиг.7,8 показаны частотные зависимости углов излучения в угломестной и азимутальной плоскостях.

На фиг.9 показана зависимость угла между максимумами диаграмм направленности для разных каналов в зависимости от частоты.

На фиг.10,11 показаны нормированные диаграммы направленности антенны в двух ортогональных плоскостях: угломестной и азимутальной при экспоненциальном распределении в апертуре. Обращает на себя внимание низкий уровень боковых лепестков в обеих плоскостях.

Частотная зависимость уровня кросс-поляризации, определяемая углом между векторами электрического поля в дальней зоне при возбуждении антенны с разных входов, показана на фиг.12.

Наконец, на фиг.13 приведены частотные зависимости КИПа для двух разных распределений в апертуре антенны. Кривая 2 соответствует экспоненциальному распределению по двум координатам. Кривая 1 соответствует равномерному распределению в волноводе и экспоненциальному в ортогональном направлении.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что патентуемая антенна позволяет обеспечить широкую полосу рабочих частот (около 10%). При этом щели в волноводе могут быть выполнены по традиционной технологии (механическая обработка), а излучатели в ПВ с помощью технологии печатных схем (фотолитография с последующим травлением) в случае щелевых или ленточных излучателей, а также прессованием в случае диэлектрических излучателей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. РФ № 2206157 МПК7 H01Q13/10, 2003г.

2. Калошин В.А., Пат. РФ № 1256114 МПК7 H01Q13/20, 1993г.

3. Сестрорецкий Б.В. и др., Пат. РФ №2099832 МПК7 H01Q13/20,  
1997г.

4. Milroy W., Пат. США № 5412394, НКИ 343-785, 1995г.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Планарная антенна, содержащая планарный металлизированный, по меньшей мере, с одной стороны диэлектрический волновод, к боковым сторонам которого примыкают два металлических волновода, связанные с планарным волноводом через периодическую решетку щелей, причем период решетки содержит две щели, сдвинутые или наклоненные относительно друг друга, на поверхности планарного волновода в узлах ромбической сетки расположены излучающие элементы, имеющие две плоскости симметрии.

2. Устройство по п.1, в котором планарный волновод имеет форму ромба.

3. Устройство по п.1, в котором металлические волноводы имеют прямоугольное сечение.

4. Устройство по п.3, в котором металлические волноводы соприкасаются с планарным своими широкими стенками.

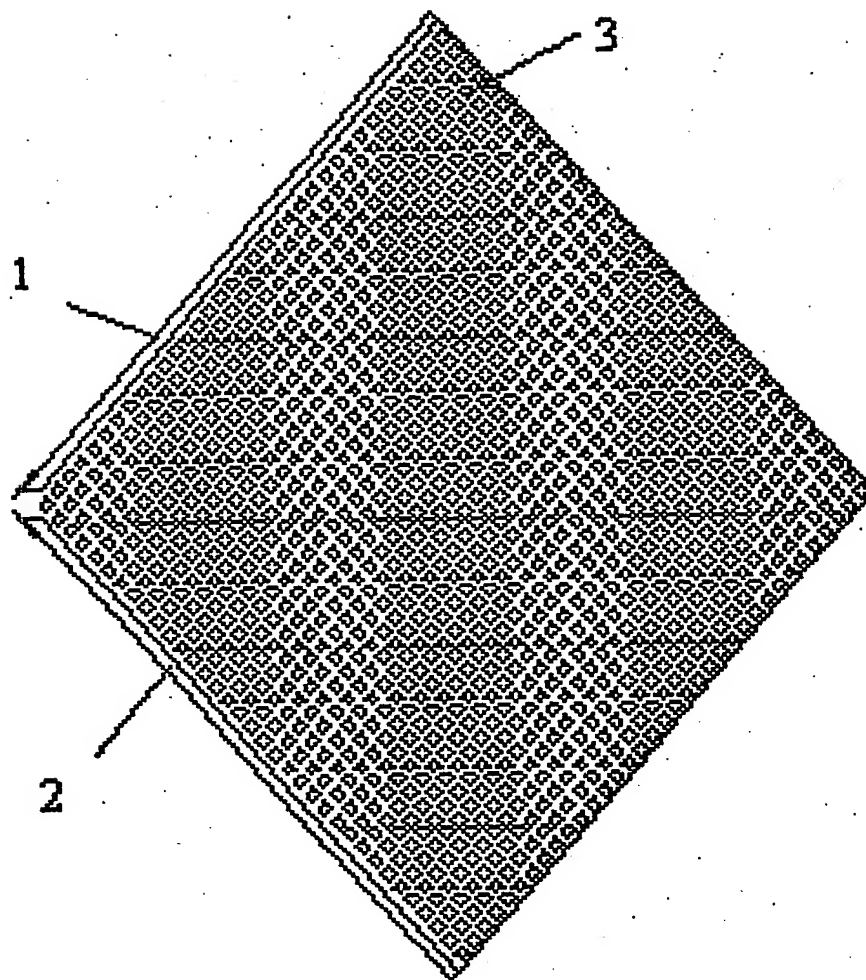
5. Устройство по п.3, в котором металлические волноводы соприкасаются с планарным своими узкими стенками.

6. Устройство по п.1, в котором плоский волновод металлизирован с двух сторон, а излучающие элементы выполнены в виде квадратных или круглых отверстий в одной из металлизаций.

7. Устройство по п.1, в котором плоский волновод металлизирован с одной стороны, а излучающие элементы выполнены в виде металлизаций, имеющих квадратную или круглую форму.

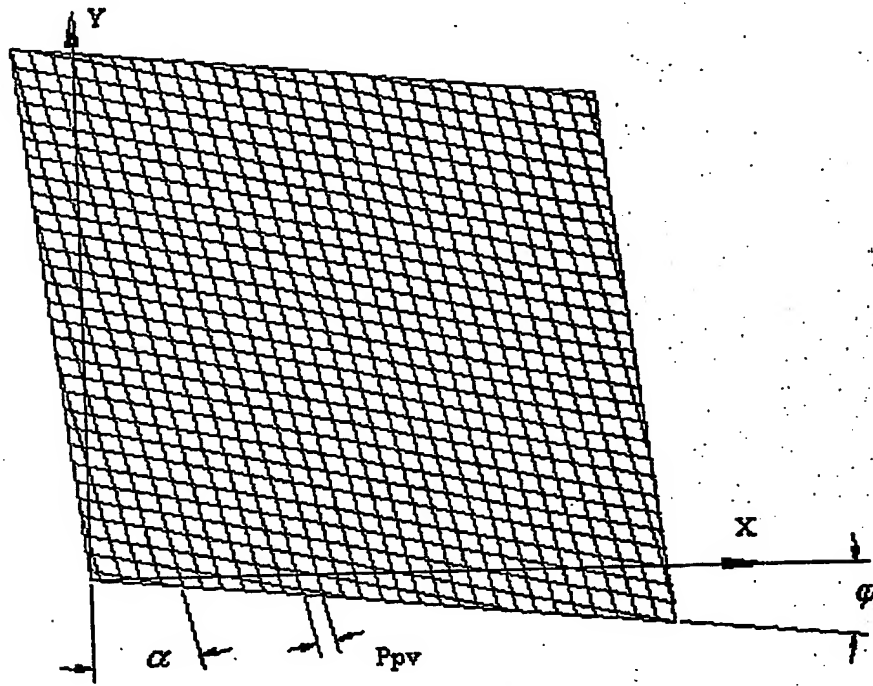
По доверенности



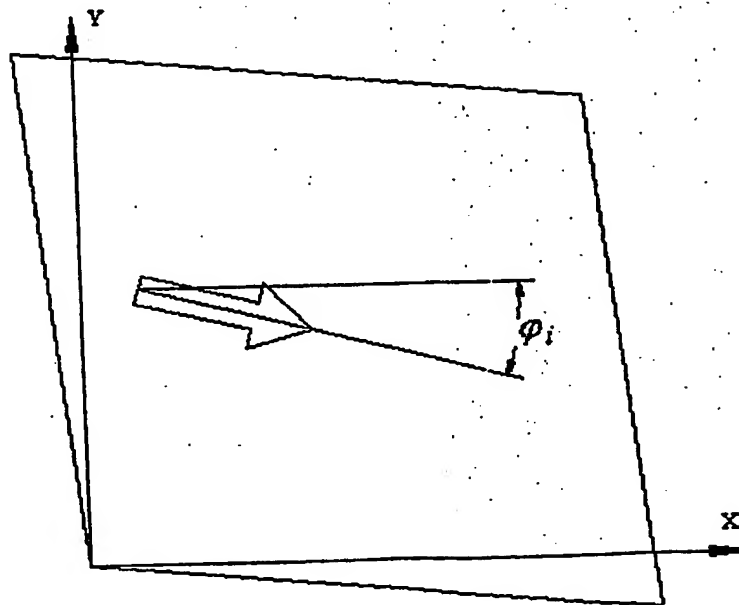


Фиг. 1

## Оси координат и ориентация излучающих решеток



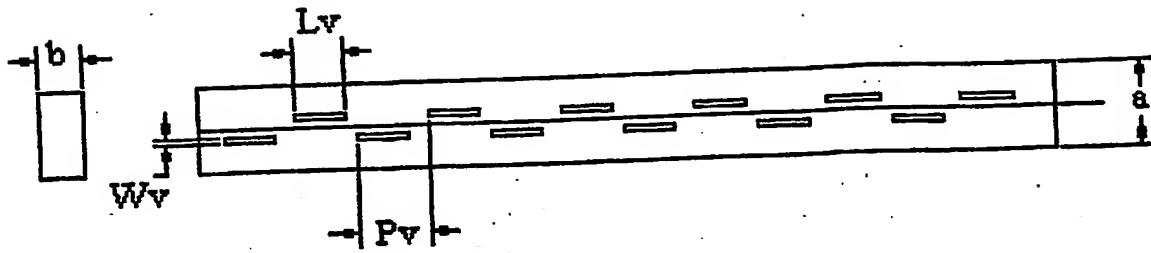
a



б

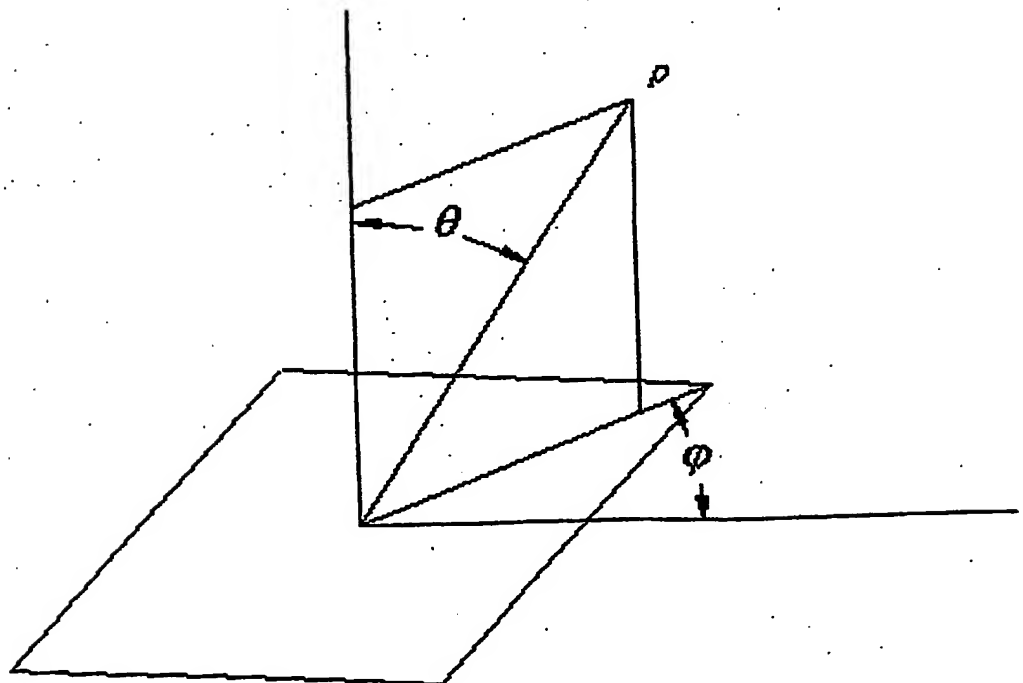
Фиг. 2

## Питающий волновод



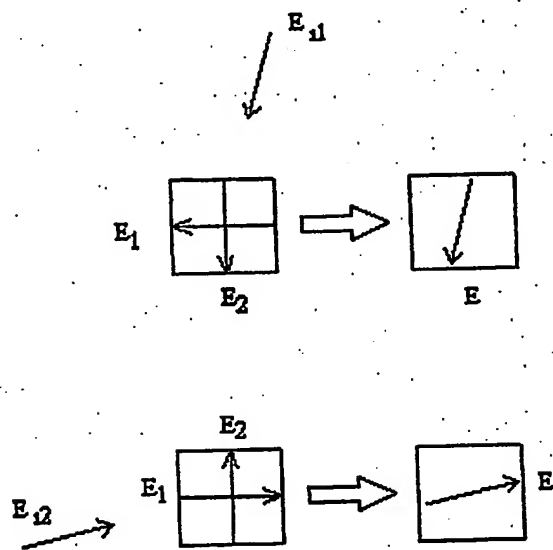
Фиг. 3

## Сферическая система координат



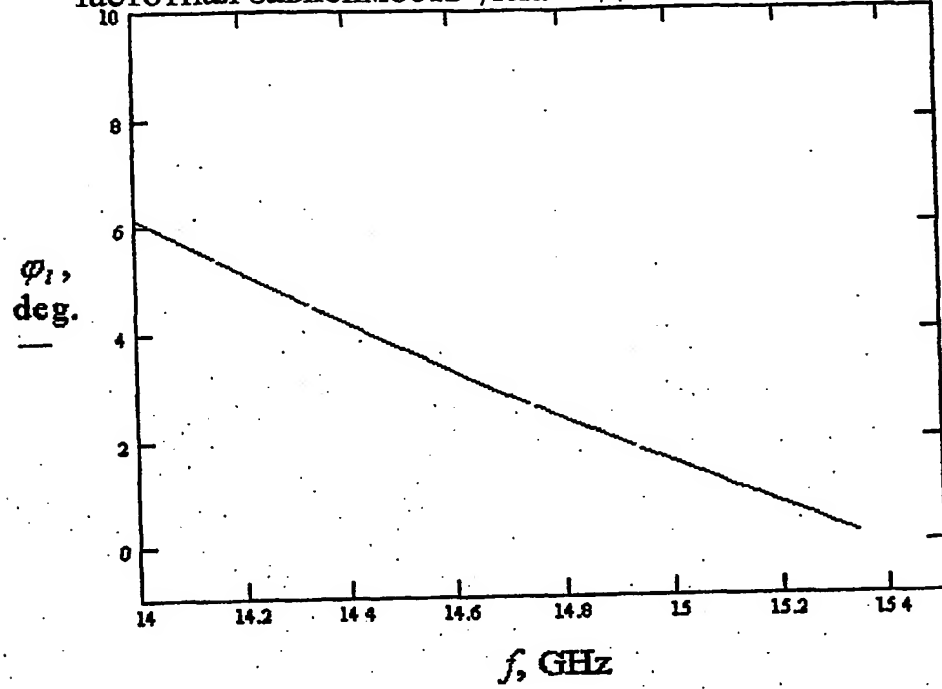
Фиг. 4

## Ориентация электрического поля в излучающем элементе.



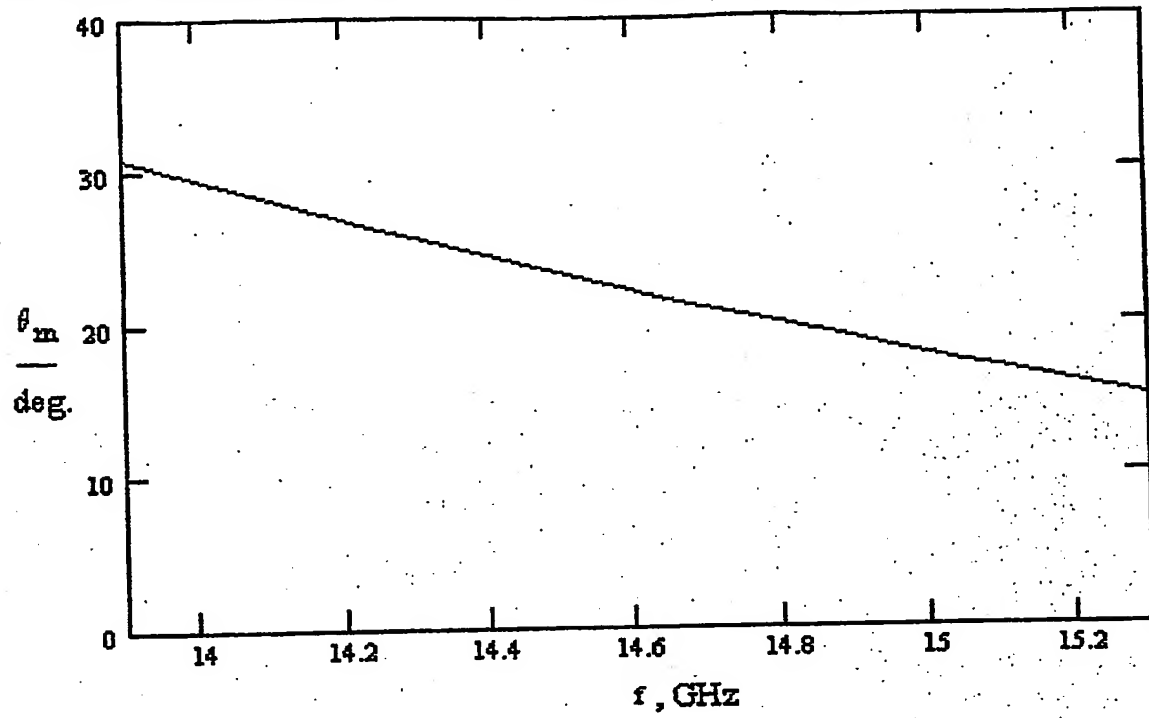
Фиг. 5

## Частотная зависимость угла падения волнового пучка



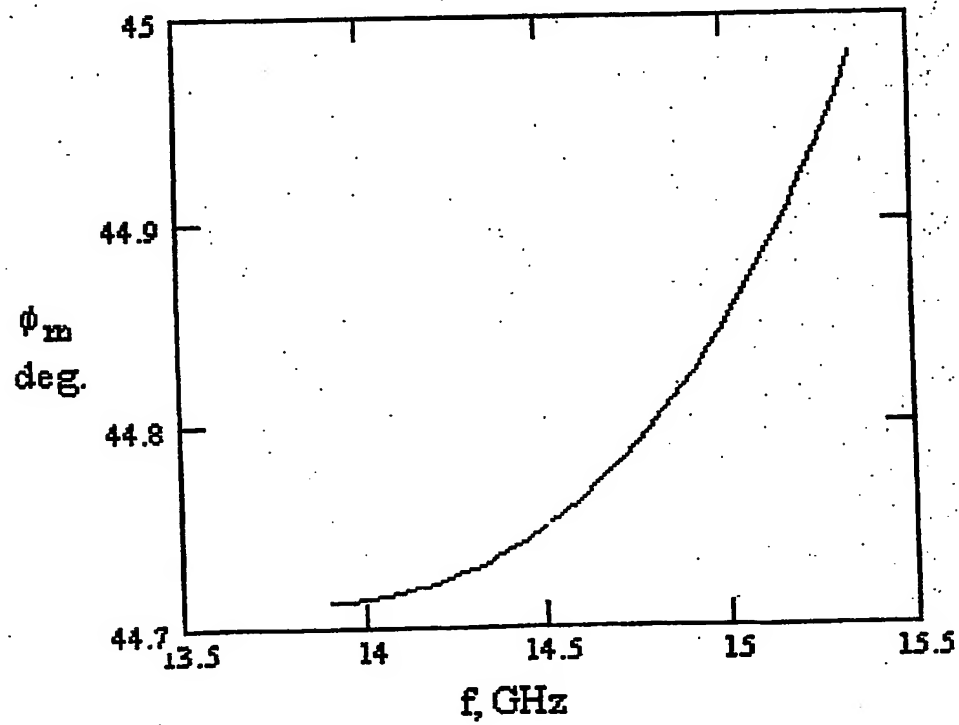
Фиг. 6

Частотная зависимость угла излучения в угломерной плоскости



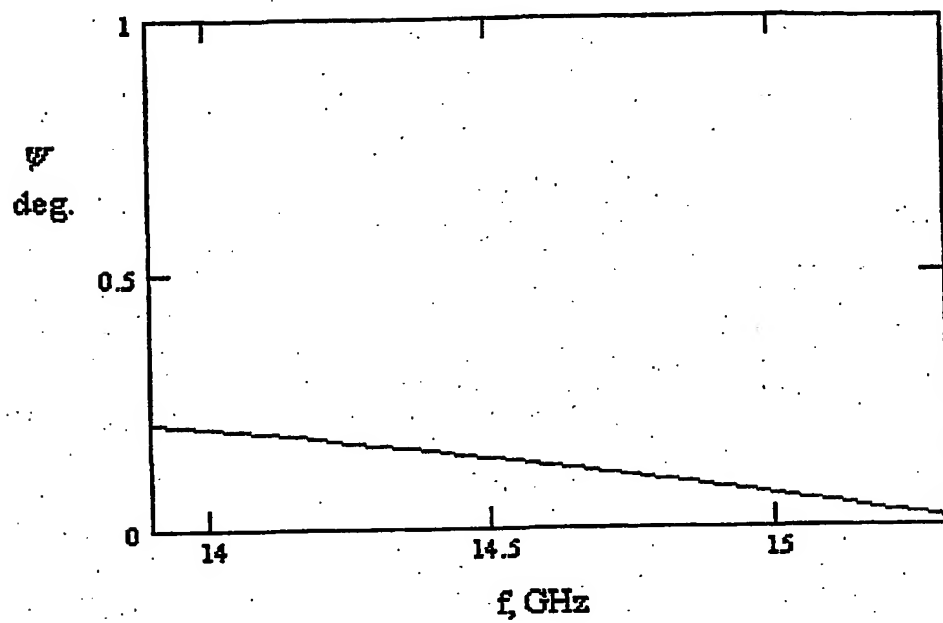
Фиг. 7

Частотная зависимость угла излучения в азимутальной плоскости



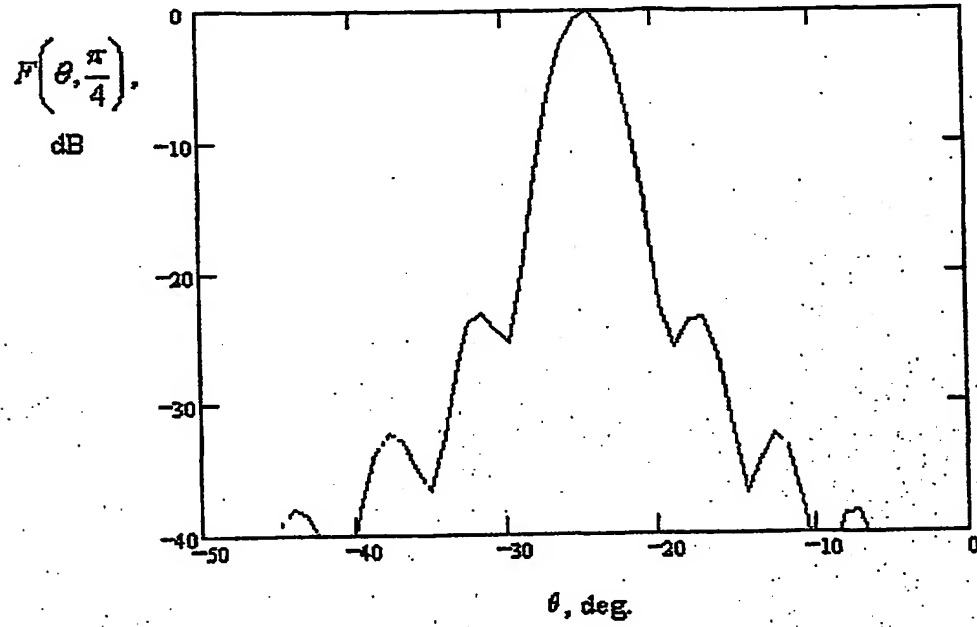
Фиг. 8

## Расхождение лучей, возбуждаемых по разным каналам



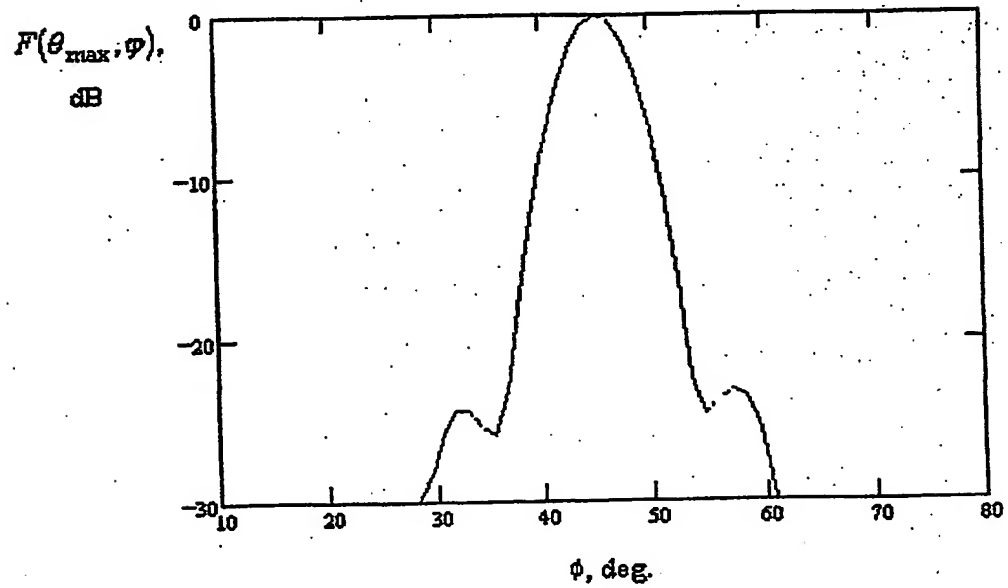
Фиг. 9

# Диаграмма направленности в угломестной плоскости



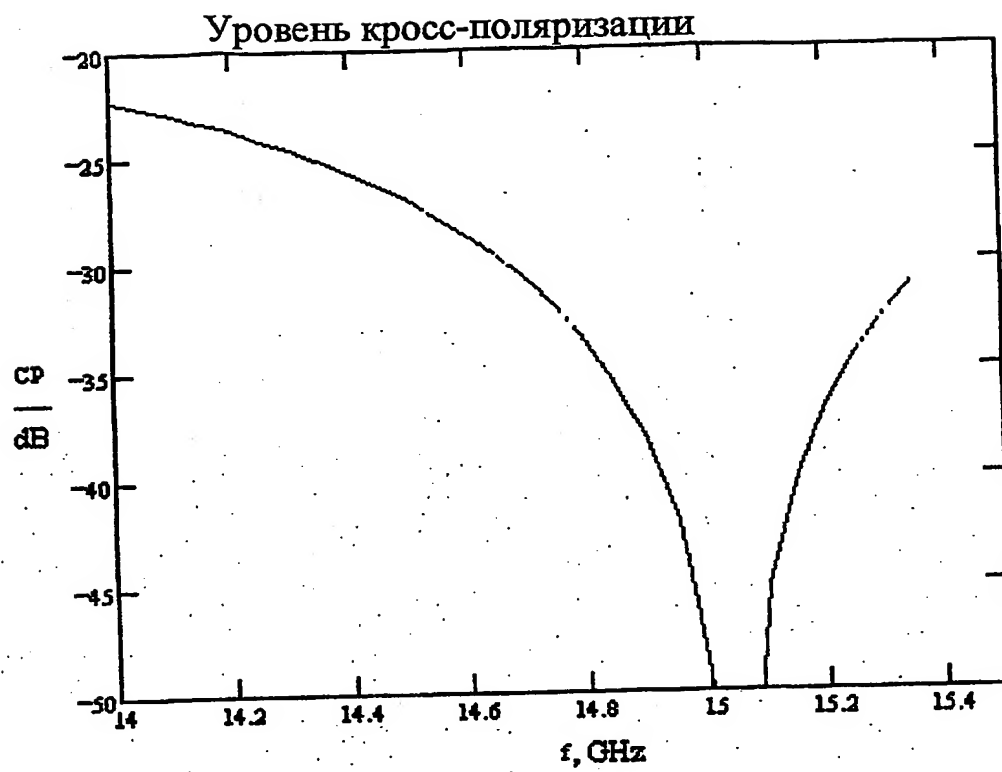
Фиг. 10

# Диаграмма направленности в азимутальной плоскости

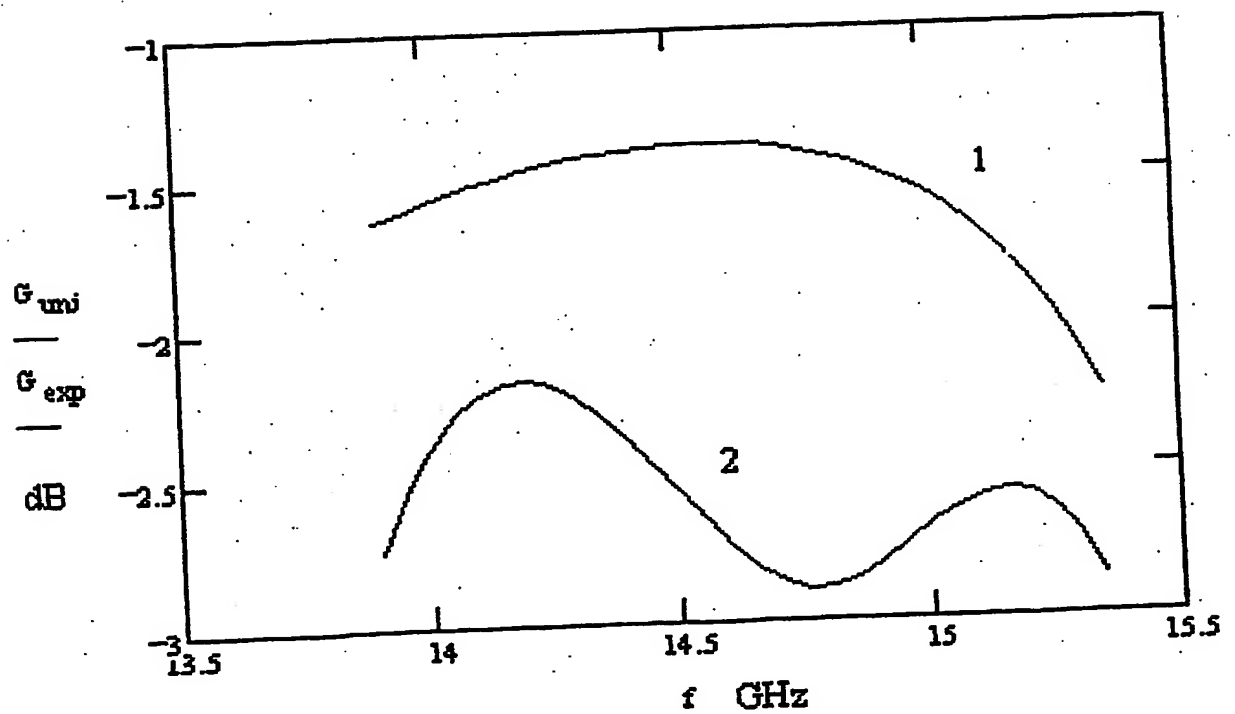


Фиг. 11





Фиг. 12



Фиг. 13

## РЕФЕРАТ

Изобретение относится к антенным системам. Техническим результатом изобретения является обеспечение работы двухполяризационной антенны, созданной на базе планарного металлодиэлектрического волновода, в широкой полосе частот. Технический результат достигается тем, что антенна содержит планарный, металлизированный, по меньшей мере, с одной стороны диэлектрический волновод, к боковым сторонам которого примыкают два металлических волновода, связанные с планарным волноводом через периодическую решетку щелей. Период решетки содержит две щели, сдвинутые или наклоненные относительно друг друга. На поверхности планарного волновода в узлах ромбической сетки расположены излучающие элементы, имеющие две плоскости симметрии.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINE(S) OR MARK(S) ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**